

文章编号: 1000-7032(2015)10-1167-04

一种基于 AlGa_N 和石墨烯的紫外-红外双色探测器

刘翌寒^{1,2}, 曹 伟¹, 李绍娟^{3*}, 李 洋⁴, 孙世闯⁴,
付 凯^{2*}, 陈长清³, 张宝顺²

(1. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 中国科学院 苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 江苏 苏州 215123;

3. 苏州大学 功能纳米与软物质研究院, 江苏 苏州 215123; 4. 华中科技大学 武汉光电国家实验室, 湖北 武汉 430000)

摘要: 通过 MOCVD 和 CVD 生长技术, 利用高 Al 组分 AlGa_N 和单层石墨烯材料进行纵向集成, 成功制备了日盲紫外-近红外双色探测器。在工作温度为室温、调制频率为 209 Hz 以及工作电压分别为 10 V 和 5 V 的工作条件下, 所制备的双色探测器在紫外波段 263 nm 处的响应度为 5.9 mA/W, 在近红外波段 1.15 μm 处的响应度为 0.67 mA/W, 并且探测器的响应度均随着工作电压的增加而增大。

关键词: AlGa_N; 石墨烯; 紫外-红外双色探测器

中图分类号: TN215; TN23

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20153610.1167

AlGa_N and Graphene Based UV-IR Dual-color Detectors

LIU Yi-han^{1,2}, CAO Wei¹, LI Shao-juan^{3*}, LI Yang⁴,
SUN Shi-chuang⁴, FU Kai^{2*}, CHEN Chang-qing³, ZHANG Bao-shun²

(1. *The College of Measurement and Control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;*

2. *Suzhou Institute of Nano-tech and Nano-bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215123, China;*

3. *FUNSON & Collaborative Innovation Center of Suzhou Nano Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215123, China;*

4. *Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430000, China)*

* *Corresponding Author, E-mail: kfu2009@sinano.ac.cn*

Abstract: Employing MOCVD and CVD growth technique, the solar blind ultraviolet-near infrared dual-color detectors were successfully fabricated based on AlGa_N with high Al component and single-layer graphene materials by vertical integration. The typical response of the dual color detectors in the ultraviolet band at 263 nm is 5.9 mA/W, and that in the near infrared band at 1.15 μm is 0.67 mA/W, under the operating condition of room temperature, the modulation frequency of 209 Hz, and the operating voltage of 10 V and 5 V, respectively. Besides, the responses of the two types of detectors will increase with the increase of operating voltage.

Key words: AlGa_N; graphene; UV-IR dual-color detector

收稿日期: 2015-07-19; 修订日期: 2015-09-07

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(11404372); 江苏省自然科学基金青年科学基金(BK20130328); 中国博士后面上资助项目(2014M551654); 江苏省博士后日常资助项目(2014年度)

1 引 言

紫外探测器和红外探测器是两种常见的广泛应用于军事和民用等方面的探测器。将两种波段探测集成的紫外-红外双色探测器可以抑制背景噪声,降低虚警率,是当今光电探测技术发展的研究热点之一。目前实现紫外-红外双色集成探测的方式有基于 AlGaIn/GaN 量子阱子带跃迁与 Al-GaN 中带间跃迁机理的紫外-红外双色探测器^[1-2]和 ZnO/SbS 结构的紫外-红外双色探测器^[3]等。然而,这些探测器的材料生长困难,制备复杂,成本高,集成后的器件响应度比较低,进而导致紫外-红外双色集成探测器的发展缓慢。

近年来,石墨烯在红外探测器方面的应用得到越来越多的关注^[4-7]。理论和研究表明,石墨烯在整个红外波段都有非常好的响应特性,尤其通过功能化之后可以大幅度提高响应度。另一方面,对于紫外探测器,通过调整 AlGaIn 中的 Al 组分可以实现不同紫外波段的探测。针对探测器在集成化和多功能化方向的发展需求,本文利用单层石墨烯的高光学透过率和红外响应特性及 AlGaIn 材料的可调紫外响应特性,将石墨烯和 AlGaIn 材料进行纵向集成,利用半导体微加工技术成功制备出日盲紫外-近红外双色探测器,进而有望实现双波段探测共用一个光学系统。

2 实 验

2.1 材料制备

利用金属有机化合物化学气相沉积(Metal organic chemical vapor deposition, MOCVD)技术,采用 AlN 作为缓冲层,在蓝宝石衬底上外延得到厚度为 200 nm、Al 组分为 47% 的 AlGaIn 薄膜,以实现日盲紫外波段的响应。石墨烯是采用化学气相沉积(Chemical vapor deposition, CVD)技术在 Cu 基上生长得到。在转移石墨烯时,用 PMMA 光刻胶对石墨烯进行保护,将带有石墨烯的 Cu 基底浸泡于 FeCl₃ 溶液中进行腐蚀。将腐蚀干净后的石墨烯转移至 AlGaIn 薄膜衬底上,并利用丙酮对 PMMA 光刻胶进行清洗。

如图 1 所示,通过对转移后的石墨烯进行拉曼测试可以发现,2D 峰强度显著大于 G 峰强度,几乎为 G 峰强度的 2 倍,且由无序和缺陷引起的 D 峰很弱,表明转移后的石墨为单层结构,且具有

较少的缺陷。

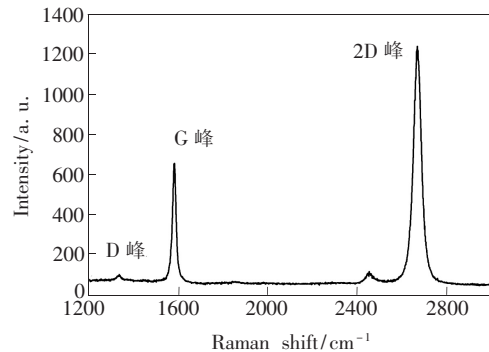


图 1 在 532 nm 激光激发下的石墨烯的拉曼光谱
Fig. 1 Raman spectrum of the graphene excited by 532 nm laser

2.2 器件制备

利用紫外光刻工艺,在 AlGaIn 材料层上制作金属叉指掩膜。利用电子束蒸发工艺,在带有掩膜的材料层上沉积 Ni/Au 合金作为金属叉指电极。利用等离子体增强化学气相沉积(Plasma enhanced vapor deposition, PECVD)工艺,在具有金属叉指电极的 AlGaIn 材料层上沉积一定厚度的氮化硅(SiN_x)作为绝缘介质层。将带有 PMMA 光刻胶的石墨烯转移至上述器件表面。利用紫外光刻工艺,在石墨烯材料层上制作金属电极掩膜。

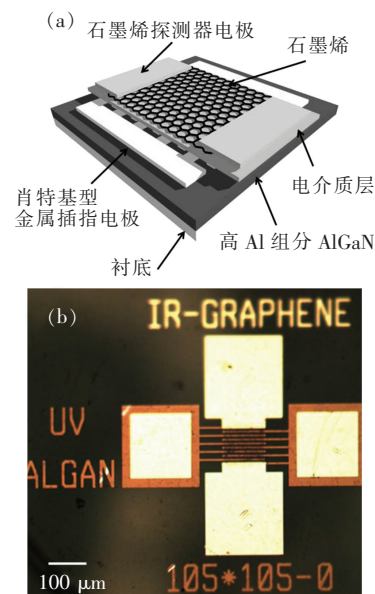


图 2 (a) 双色探测器结构示意图;(b) 器件光学显微镜照片。

Fig. 2 (a) Schematic diagram of AlGaIn/graphene UV-IR dual-color detector. (b) Photograph of the UV-IR dual-color detector.

利用电子束蒸发工艺,在带有掩膜的石墨烯材料层上分别沉积 Ti/Au 合金和 Ni/Au 合金作为电极。图 2 为双色探测器的结构示意图和光学显微照片,器件光敏面的面积为 $105 \mu\text{m} \times 105 \mu\text{m}$ 。

3 结果与讨论

实验中进行光谱响应测试的系统组件主要包括氙灯光源、单色仪、斩波器(SR540)、聚焦系统、锁相放大器(SR830)、标准紫外增强的 Si 探测器和 InGaAs 探测器。如图 3 所示,为了提高测试精度和灵敏度,利用调制盘对各个波长的入射光进行频率调制,并利用锁相放大器来提取待测探测器上产生的对应入射光频率下的光电信号。实验中调制盘的调制频率为 209 Hz,紫外与红外光电响应测试均在室温下进行。由于所设计的紫外-红外双色探测器的紫外探测和红外探测可以分别进行操作,实验中分别对 AlGaIn 紫外探测器和石墨烯红外探测器进行了光谱测试分析。

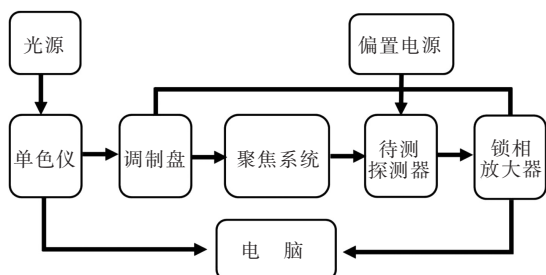


图 3 光谱响应测试原理图

Fig. 3 Principle diagram of the spectral response test system

图 4 给出了双色探测器在日盲紫外波段的光电响应谱。可以看出,探测器在日盲紫外波段具有明显的光电响应,在 263 nm 附近达到最大的响应度,并具有陡峭的截止边。利用标准的 Si 探测器进行校准,在 10 V 的偏置电压下,探测器在 263 nm 处的响应度为 5.9 mA/W 。从插图可以看出,在所用氙灯光源的照射下,随着偏置电压的增加,由于器件有源区和增益变大,实验测试范围内的探测器在日盲紫外波段的响应度随着偏压的增加而不断增大。

图 5 给出了双色探测器在红外波段的响应曲线。从实验结果可以看出,器件在 $0.9 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 的近红外波段具有明显的光电响应。利用标准的 InGaAs 探测器进行校准,在 5 V 的偏置电压下,器件在 $1.15 \mu\text{m}$ 处的响应度为 0.67 mA/W 。从

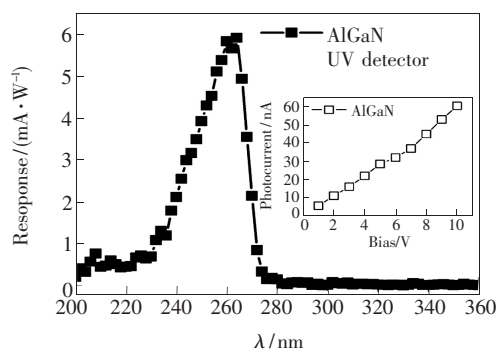


图 4 双色探测器在日盲紫外波段的光电响应谱,插图为 AlGaIn 紫外探测器光电流随偏压的变化。

Fig. 4 Photoelectric response spectrum of AlGaIn-graphene UV-IR dual-color detector. The insert is the photocurrent of AlGaIn UV detector as a function of bias voltage.

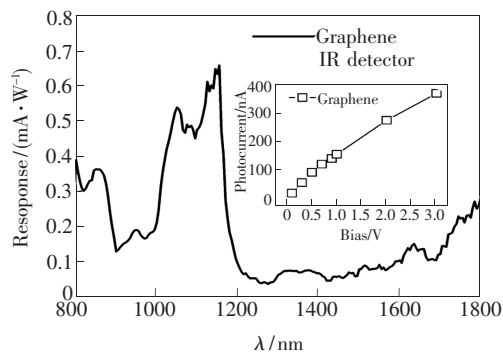


图 5 双色探测器在红外波段的响应曲线,插图为石墨烯探测器在红外波段的光电流随偏压的变化。

Fig. 5 Photoelectric response spectrum of AlGaIn/graphene UV-IR dual-color detector. The insert is the photocurrent of the graphene IR detector as a function of bias voltage.

插图所示的结果可以看出,与在日盲紫外波段探测器的响应度随电压的变化类似,在所用氙灯光源的照射下,随着电压的增加,探测器在红外波段的响应度随着电压的增加而增大。

实验中单层石墨烯虽然具有明显的近红外光电响应,但是响应度偏低。利用双层或多层石墨烯与 AlGaIn 集成来制备双色探测器有望提高探测器在红外波段的光电响应^[8-9]。此外,通过调控 AlGaIn 表面电极的叉指周期,利用金属光栅表面等离子基元可以实现对不同波段入射光的耦合增强^[10-11],从而提高双色探测器在日盲紫外波段的光电响应。

4 结 论

通过 MOCVD 外延高 Al 组分 AlGaIn 技术、

CVD生长石墨烯技术和半导体微加工工艺,基于 AlGa_N 的紫外响应和石墨烯在近红外波段的光电响应,成功实现了日盲紫外-近红外双色探测器。在工作温度为室温、调制频率为 209 Hz 以及工作电压分别为 10 V 和 5 V 的工作条件下,所制备的双色探测器在 263 nm 处的响应度

为 5.9 mA/W,在 1.15 μm 处的响应度为 0.67 mA/W,并且探测器的响应度均随着工作电压的增加而增大。此外,通过增加石墨烯的层数或调整 AlGa_N 表面叉指电极的周期,有望进一步提高探测器的响应度,从而实现更高性能的紫外-红外双色探测器。

参 考 文 献:

- [1] Hofstetter D, Theron R, Baumann E, *et al.* Monolithically integrated AlGa_N/Ga_N/AlN-based solar-blind ultraviolet and near-infrared detectors [J]. *Electron. Lett.*, 2008, 44(16):986-988.
- [2] Ariyawansa G, Rinzan M B M, Strassburg M, *et al.* Ga_N/AlGa_N heterojunction infrared detector responding in 8 - 14 and 20 - 70 μm ranges [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(14):141122-1-3 .
- [3] Shao J F, Perera A G U, Jayaweera P V V. Low-cost UV-IR dual band detector using nonporous ZnO film sensitized by PbS quantum dots [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2010, 27(2):260-262 .
- [4] Zhang Y Z, Liu T, Meng B, *et al.* Broadband high photoresponse from pure monolayer graphene photodetector [J]. *Nat. Commun.*, 2013, 4(1):8-11.
- [5] Lemme M C, Koppens F H L, Falk A L, *et al.* Gate-activated photoresponse in a graphene p-n junction [J]. *Nano Lett.*, 2011, 11(10):4134-4137.
- [6] Gabor N M, Song J C W, Ma Q, *et al.* Hot carrier-assisted intrinsic photoresponse in graphene [J]. *Science*, 2011, 334(6056):648-652.
- [7] Furchi M, Urich A, Pospischil A, *et al.* Microcavity-integrated graphene photodetector [J]. *Nano Lett.*, 2012, 12(6):2773-2777.
- [8] Withers F, Bointon T H, Craciun M F, *et al.* All-graphene photodetectors [J]. *Acs Nano*, 2013, 7(6):5052-5057.
- [9] Tsuchiya T, Terabe K, Aono M. *In situ* and non-volatile bandgap tuning of multilayer graphene oxide in an all-solid-state electric double-layer transistor [J]. *Adv. Mater.*, 2014, 26(7):1087-1091.
- [10] Ferguson I, Tran C A, Karlicek R F, *et al.* Ga_N and AlGa_N metal-semiconductor-metal photodetectors [J]. *Mater. Sci. Eng. B*, 1997, 50(1-3):311-314.
- [11] Huang Y, Chen D J, Lu H, *et al.* Photocurrent characteristics of two-dimensional-electron-gas-based AlGa_N/Ga_N metal-semiconductor-metal photodetectors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, 96(24):243503-1-4 .



刘翌寒(1990 -),女,吉林松原人,硕士研究生,2013 年于哈尔滨理工大学获得学士学位,主要从事宽禁带半导体光电器件的研究。
E-mail: yhliu2014@sinano.ac.cn



付凯(1986 -),男,山东曲阜人,博士,副研究员,2013 年于中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所获得博士学位,主要从事宽禁带半导体光电器件的研究。
E-mail: kfu2009@sinano.ac.cn